

Kalorik

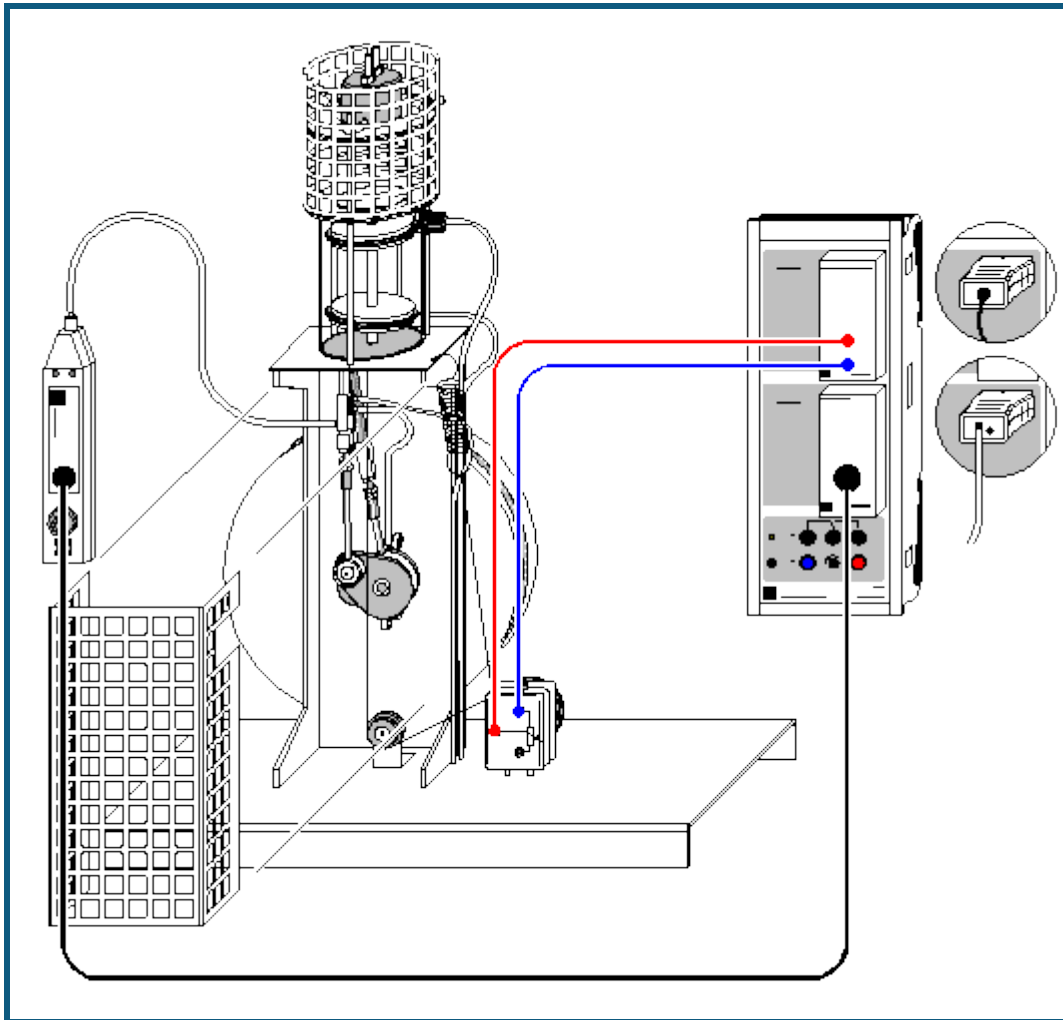
Thermodynamischer Kreisprozess
Heißluftmotor: Quantitative Versuche

pV-Diagramm des
Heißluftmotors als
Wärmekraftmaschine -
Aufzeichnung und
Auswertung mit CASSY

Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe
verwenden.

pV-Diagramm eines Heißluftmotors



 auch für [Pocket-CASSY](#) geeignet

Sicherheitshinweise

- Vor jedem Versuch sicherstellen, dass die Heizplatte entsprechend der Kerben aufgesetzt ist und die Heizwendel den Verdrängerkolben nicht berührt.
- Der Heizkopf des Heißluftmotors kann sehr heiß werden und die Pleuel des Antriebs- und Verdrängerkolbens können bei laufendem Motor zu Verletzungen führen. Deshalb müssen die Berührungsschutzkörbe im Betrieb immer verwendet werden.
- Motor nicht ohne Kühlwasserdurchfluss benutzen. Der Motor kann sowohl an der Wasserleitung als auch mit einer Umwälzpumpe und einem Wasserreservoir benutzt werden, das zweckmäßigerweise mit destilliertem oder abgekochtem Wasser (kalkfrei) gefüllt wird. Sollte sich bei Betrieb mit Leitungswasser der Durchfluss verringern, gesamtes System mit warmer Entkalkungslösung spülen.
- Beide Kolben des Heißluftmotors müssen regelmäßig mit Silikonöl geschmiert werden. Am einfachsten geht das, wenn man die Heizplatte abnimmt, den Verdrängerkolben in seine untere Stellung fährt und mit einem Trinkhalm Silikonöl mit einer Spritzflasche so einbringt, dass es an der Wand des Kolbens auf den oberen Dichtring nach unten läuft. Da die Dichtung nicht völlig dicht ist, gelangt nach kurzer Zeit auch genügend Öl auf den unteren Dichtring. Bei ungenügender Schmierung wird der Motor laut und läuft nur noch mit verringerter Drehzahl!
- Netzspule (562 21) nicht ohne Transformator anschließen.

Versuchsbeschreibung

Thermodynamische Kreisprozesse werden häufig als geschlossene Kurven in einem pV-Diagramm (p: Druck, V: Volumen) beschrieben. Die dem System je nach Umlaufsinn entnommene oder zugeführte Arbeit entspricht dann der durch die Kurve eingeschlossenen Fläche.

Im Versuch wird das pV-Diagramm des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine aufgezeichnet. In Abhängigkeit von der Zeit t misst ein Drucksensor den Druck p im Zylinder und ein Wegaufnehmer die Position s des Arbeitskolbens, aus der das eingeschlossene Volumen V berechnet wird. Die Messwerte werden auf dem Bildschirm direkt in einem pV-Diagramm dargestellt. Zur weiteren Auswertung wird die als Kolbenreibung verrichtete mechanische Arbeit

$$W = -\int p \cdot dV$$

pro Umlauf berechnet.

Benötigte Geräte

1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	Stromquellen-Box	524 031
	mit Wegaufnehmer und	529 031
	Paar Kabel, 100 cm, rot und blau	501 46
	oder	
1	Drehbewegungssensor S	524 082
1	B-Box	524 038
	mit Drucksensor und	529 038
	Verbindungskabel, 6-polig	501 16
	oder	
1	Drucksensor S, ±2000 hPa	524 064
1	Heißluftmotor	388 182
1	Angelschnur	aus 309 48ET2
1	Schraubenfeder	aus 352 08ET2
1	U-Kern mit Joch	562 11
1	Spannvorrichtung mit Klemmfeder	562 121
1	Netzspule, 500 Windungen	562 21
1	Kleinspannungsspule, 50 Wnd.	562 18
2	PVC-Schläuche, Ø 8 mm	307 70
1	Tauchpumpe 12 V	388 181
1	Kleinspannungs-Netzgerät	521 231
1	Kanister	604 307
2	Kabel, 100 cm, schwarz	501 33
1	Wasserbehälter 10 l	
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Versuchsaufbau (siehe Skizze)


Der zerlegbare Transformator wird montiert und das Joch fest aufgespannt.

Die Heizplatte wird entsprechend Gebrauchsanleitung montiert und die Heizung mit den beiden Experimentierkabeln an die beiden äußersten Buchsen der Kleinspannungsspule angeschlossen.

Der Schlauch des Drucksensors wird an den Druckstutzen des Arbeitskolben-Pleuels angeschlossen. Der Drucksensor wird über die B-Box an Eingang B des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Wegaufnehmer wird mit zwei Kuppelungssteckern auf der Grundplatte befestigt und ein Faden entsprechend Skizze geschlungen und über die Stromquellen-Box an Eingang A angeschlossen. Der Arbeitskolben hat nach unten einen Stift mit Öse zum Befestigen des Fadens. Die Rückholfeder wird in das Loch am Gestellkopf eingehängt. Sie muss im unteren Totpunkt bereits Spannung aufweisen. Faden zweimal um die Rolle des Wegaufnehmers schlingen, damit kein Schlupf auftritt! Die Stellung des Potentiometers muss so eingestellt werden, dass im oberen Totpunkt des Arbeitszylinders ein Volumen von ca. 50 cm³ angezeigt wird.

Versuchsdurchführung

■ Einstellungen laden

- Test der richtigen Einstellung des Wegaufnehmers: Der Motor wird einmal von Hand durchgedreht und beobachtet, ob die Volumenanzeige innerhalb des Messbereiches ist. Ist das nicht der Fall, wird der Faden leicht entspannt und das Rad des Wegaufnehmers bis zur korrekten Anzeige verdreht.
- Heizung mittels Schalter an der Netzspule einschalten. Beim ersten Start ist es sinnvoll, ca. 1 Minute zu warten, bevor man den Motor anwirft, damit das Gas für einen leichten Anlauf heiß genug wird. Bei weiteren Versuchen kann man den Motor starten, wenn die Heizwendel zu glühen beginnt.
- Messung mit  starten. Es werden die voreingestellte Anzahl Messpunkte automatisch gemessen und dargestellt; die Messung ist auf wenige Umläufe eingestellt, damit das folgende Integrieren einfacher wird.

Auswertung

Volumenbestimmung (bereits im Beispiel durchgeführt): Der Innendurchmesser des Arbeitszylinders beträgt 60 mm, womit sich eine Kolbenfläche von $28,3 \text{ cm}^2$ ergibt. Zusammen mit dem Weg s_{A1} ergibt sich die Formel für das Volumen mit dem dazugehörigen Messinstrument.

Die Arbeit pro Umlauf ergibt sich aus der eingeschlossenen Fläche. Man erhält sie folgendermaßen: [Integral berechnen \(Peakfläche\)](#) im Auswertungsmenü (rechte Maustaste im Diagramm) wählen und einen Umlauf markieren (Anfangspunkt anklicken und Umlauf bei gedrückter Maustaste abfahren). Die Messpunkte, die zur Integration beitragen, werden farblich anders dargestellt. Es ist in der Regel nicht zu erreichen, dass alle Messpunkte eines Umlaufs erfasst werden; es ist aber auch für die Berechnung der Fläche unerheblich, wenn ein oder zwei Punkte durch eine Gerade substituiert werden. Nach dem Loslassen der Maustaste wird die Fläche ausgefüllt und der Flächeninhalt in der [Statuszeile](#) angezeigt.

Im Beispiel erhält man für die Arbeit W etwa $W = 18900 \text{ hPa} \cdot \text{cm}^3 = 1,89 \text{ Nm}$.

Anmerkung

Die Leistung des Motors erhält man zu $P = W \cdot f$ mit der Leerlauf-Drehfrequenz f .

Die Frequenz f kann man mit einer Lichtschranke und einem Zählgerät ermitteln. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung des **Frequenzspektrums** (mit der Maus anklicken). Für eine bessere Frequenzauflösung müssen allerdings mehr Messwerte als im Beispiel registriert werden (Anzahl im [Messparameter-Fenster](#) von 125 z. B. auf 2000 erhöhen).